

# **Avaliação do Impacto Energético e Económico de Diferentes Soluções Construtivas**

Sandra Monteiro Silva<sup>1</sup> e Manuela Guedes de Almeida<sup>2</sup>

*Universidade do Minho - Departamento de Engenharia Civil  
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal*

## **RESUMO**

Com a Revolução Industrial, os critérios para a construção de edifícios afastaram-se dos princípios bioclimáticos sendo dada maior importância aos critérios económico e tecnológico. Isto conduziu à construção de edifícios altamente consumidores de energia em que as condições de conforto são atingidas com recurso a sistemas mecânicos de climatização.

No entanto, a crise energética de 1973 introduziu uma nova forma de entender a Arquitectura que pretende recuperar algumas das tecnologias do passado, actualmente em desuso, mas que são eficazes para a obtenção de condições de conforto térmico no interior das habitações e cujo objectivo é minimizar a utilização de energias de origem fóssil e tirar o máximo partido da energia solar.

O sector dos edifícios em Portugal é responsável por 22% do consumo de energia e este consumo tem crescido a uma preocupante taxa de 7.5% ao ano. Nestas condições, a redução dos consumos energéticos para obtenção de condições de conforto térmico nos edifícios torna-se uma prioridade e uma das principais metas a atingir a curto/médio prazo. Com este propósito, deve ser contrariada a tendência crescente do recurso aos sistemas de climatização, recorrendo antes a sistemas naturais, optimizando-os depois, se necessário, com sistemas de climatização correctamente escolhidos e dimensionados.

## **1. INTRODUÇÃO**

Para reduzir os consumos energéticos no sector dos edifícios através da implementação de soluções bioclimáticas é necessário sensibilizar de forma eficaz todos os intervenientes no processo construtivo (projectistas, utilizadores, construtores e promotores imobiliários), mostrando a maior eficiência energética de uma solução em relação a outra, e apresentando um estudo de viabilidade económica da mesma. Este estudo é essencial uma vez que está previsto que a nova legislação Portuguesa referente ao comportamento térmico dos edifícios torne obrigatória a implementação de todas as soluções construtivas que apresentem tempos de recuperação do maior investimento inicial necessário à sua execução, inferior a 8 anos.

Dos processos existentes para reduzir os consumos energéticos nos edifícios, podem destacar-se o reforço do isolamento térmico, o controlo das infiltrações e a optimização dos

---

<sup>1</sup> Assistente, e-mail: [sms@civil.uminho.pt](mailto:sms@civil.uminho.pt)

<sup>2</sup> Professora Auxiliar, e-mail: [malmeida@civil.uminho.pt](mailto:malmeida@civil.uminho.pt)

ganhos de calor por radiação solar através das aberturas. No entanto, existe um custo associado a cada uma destas acções, tornando-se, por isso, necessário conhecer quais as soluções que sejam simultaneamente energética e economicamente mais eficientes.

Assim, torna-se prioritário estudar o comportamento térmico de diferentes soluções construtivas (tipo de paredes, coberturas e pavimentos, tipo de envidraçados e de dispositivos de sombreamento, tipo de materiais de isolamento e respectiva espessura, etc.) bem como fazer uma análise económica do seu desempenho de modo a avaliar o tempo de recuperação do investimento inicial numa solução termicamente mais eficiente. Deste modo, neste estudo, são fornecidos elementos que permitem uma escolha conscienciosa da melhor solução sob o ponto de vista técnico e económico.

## 2. METODOLOGIA

A avaliação dos consumos energéticos dos edifícios para a estação de aquecimento (NEAq) e arrefecimento (NEArr) foi realizada em função das características da envolvente de acordo com a metodologia referida na regulamentação portuguesa, ver RCCTE (1990), para as zonas Climáticas I2 e V2 (as representativas da maior parte do território nacional).

Neste trabalho, avaliou-se em primeiro lugar a eficiência energética de algumas soluções construtivas, fazendo-se de seguida uma análise económica muito simples que permitiu avaliar rapidamente ao fim de quanto tempo um maior investimento inicial numa solução construtiva termicamente melhorada é recuperado. Para isso foram determinadas as necessidades energéticas anuais (NEA) das diversas soluções e calculado o custo anual da energia (CAE). As NEA ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ ) foram obtidas pela soma das necessidades energéticas de aquecimento (NEAq) com as necessidades energéticas de arrefecimento (NEArr). O CAE ( $\text{€/ano}$ ), foi calculado tendo por base a área útil de pavimento dos edifícios estudados e o custo da energia, considerando que é utilizada energia eléctrica ( $0.093 \text{ €/kWh}$ ). Em seguida determinou-se o tempo de recuperação do investimento inicial (TRI) tendo por solução base a que corresponde à qualidade mínima permitida pela legislação portuguesa (RCCTE, 1990). A avaliação económica foi realizada considerando uma taxa de juros e uma taxa de inflação de 0% uma vez que o pretendido neste trabalho foi um estudo comparativo de soluções.

## 3. FACTORES ANALISADOS

Para a realização da avaliação comparativa do comportamento térmico dos edifícios, as necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento dos edifícios acima referidas, foram avaliadas e comparadas para diferentes características da envolvente. Estas características foram alteradas, uma de cada vez, de modo a avaliar, para cada uma delas, a sua eficiência. As características da envolvente consideradas foram o tipo de parede, cobertura e pavimento existente, bem como o nível de isolamento utilizado, o tipo de envidraçado e de dispositivos de sombreamento utilizados, para além da análise da influência da forma e da inércia térmica do edifício.

O primeiro passo deste estudo consistiu na determinação, para os vários factores analisados, dos consumos energéticos globais apresentados pelos edifícios de modo a evidenciar o impacto energético efectivo de cada uma das soluções a adoptar. Calculou-se de seguida a redução dos consumos energéticos anuais em relação à solução base, seguindo-se a análise económica referida.

O conhecimento objectivo do real impacto dos diversos factores analisados no comportamento térmico do edifício, permite ao projectista ter consciência dos valores em

causa e optar esclarecidamente por uma construção eficiente em termos energéticos e, ao mesmo tempo, viável em termos económicos.

Apresenta-se de seguida a análise de alguns resultados obtidos para os diferentes factores estudados.

### 3.1. Avaliação da Influência da Forma e da Orientação dos Edifícios

Para realizar a análise da influência da forma dos edifícios no seu desempenho térmico, foram estudados três edifícios tipo, representativos da generalidade dos edifícios urbanos, com as dimensões base de  $12 \times 24 \times 48 \text{ m}^3$  como se mostra na Figura 1. Todos os edifícios possuem a mesma área habitável e o mesmo volume, mas factores de forma<sup>3</sup> de 0.27, 0.25 e 0.21, correspondendo a edifícios com 16 (C1), 8 (C2) e 4 (C3) andares de altura, respectivamente.

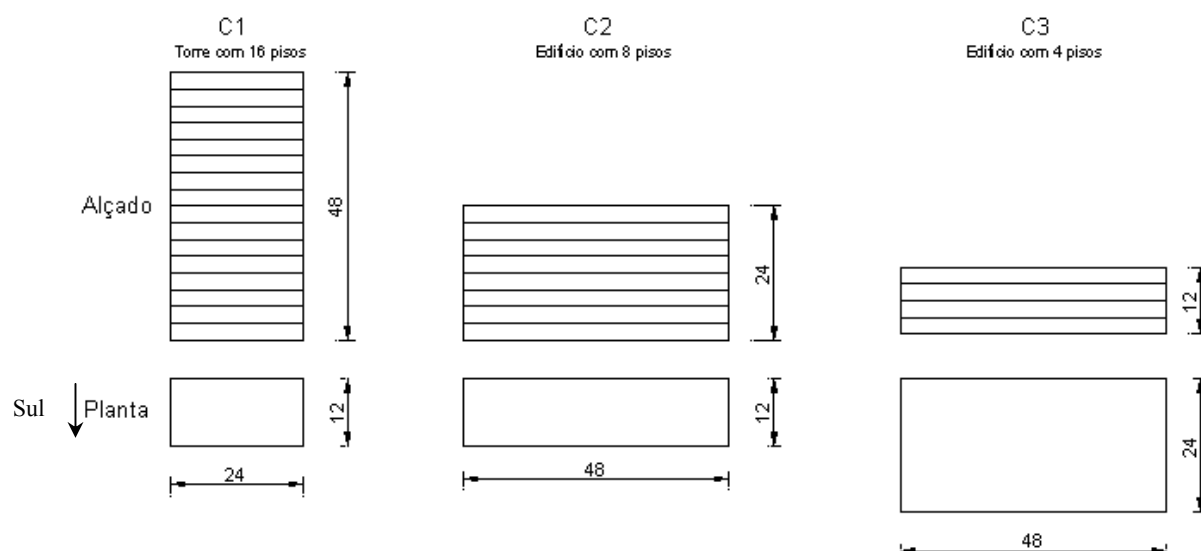


Figura 1 - Configuração dos edifícios estudados e representação esquemática, em planta, da orientação Norte/Sul

A orientação considerada neste estudo foi a ilustrada, em planta, na Figura 1, correspondente à situação em que a maior fachada está orientada a Sul (solução mais eficiente do ponto de vista energético). A área de envidraçados considerada para a realização deste estudo corresponde a cerca de 33% da área da fachada, sendo mantida esta relação, em todas as fachadas, independentemente da sua orientação.

Com o estudo efectuado, verificou-se que o desempenho térmico, no Verão, de cada uma das configurações analisadas, está directamente relacionado com as trocas de calor através da envolvente, traduzidas pelo factor de forma, sendo as necessidades energéticas tanto maiores quanto maior for este factor, como se pode observar na Figura 2. No Inverno, o desempenho térmico depende não só das perdas pela envolvente (caracterizadas pelo factor de forma) mas também dos ganhos térmicos através dos envidraçados não sombreados existentes no quadrante Sul.

Como resultado desta análise, definiu-se um índice, FPG (factor entre perdas e ganhos) que relaciona o factor de forma com a área útil dos envidraçados. Este índice, traduzido pela equação (1) e definido em Guedes de Almeida (2000 a) e Guedes de Almeida (2000 b), poderá constituir uma forma simples de avaliar o impacto da configuração

<sup>3</sup> Define-se factor de forma como o quociente entre a área da envolvente e o volume,  $F_f = A_{\text{envolv.Ext}}/V$ , ver Monteiro Silva (2001) e Guedes de Almeida (2001).

geométrica dos edifícios nos seus consumos energéticos de Inverno uma vez que existe uma relação perfeitamente identificável entre este factor e as necessidades de aquecimento, como pode se ver na Figura 3.

$$FPG = \frac{F_f}{A_{env.util}} V \quad (1)$$

Com:

$F_f$  - factor de forma;

$V$  - volume do edifício;

$A_{env.util}$  - a área de envidraçados não sombreada orientada a Sul.

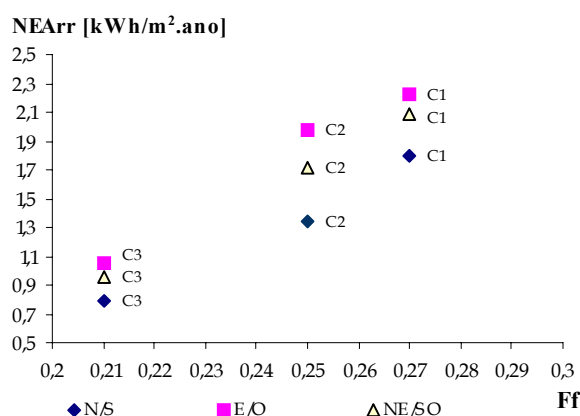


Figura 2 – Relação entre o factor de forma e as necessidades energéticas de arrefecimento para diferentes orientações dos edifícios

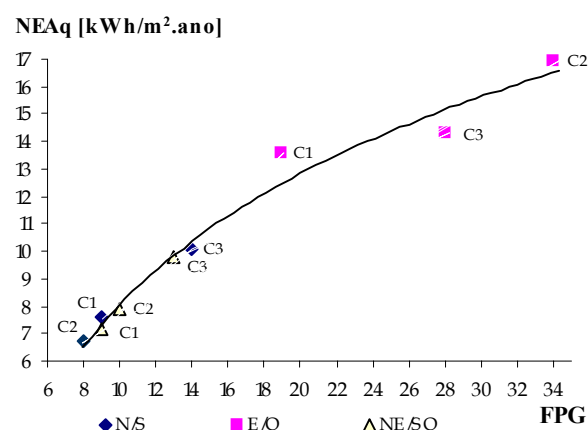


Figura 3 – Avaliação da eficiência da forma do edifício através do factor de perdas e ganhos, para as três configurações analisadas

Estes dois índices, FPG e  $F_f$ , além de evidenciarem a influência determinante que a forma do edifício tem no seu comportamento, quantificado em Guedes de Almeida (2000 a), Guedes de Almeida (1999) e em Bragança (1999), são uma forma simples e eficaz de comparar edifícios com diferentes formas e orientações e com o mesmo tipo de envolvente.

Deste estudo conclui-se que a utilização de um edifício compacto, que minora as perdas de calor pela envolvente, não é suficiente. É também necessário que o edifício esteja orientado da melhor forma de modo a garantir ganhos solares suficientes. Por isso, das configurações estudadas, a que apresenta um melhor comportamento é a configuração C2 (nas situações de edifícios de inércia térmica média ou forte), porque é aquela que consegue a melhor optimização entre as perdas pela envolvente e os ganhos solares pelos envidraçados, como se pode observar na Figura 4.

A Figura 5 evidencia outro aspecto importante a ter em conta aquando da concepção do edifício: independentemente da orientação do mesmo, as necessidades energéticas de aquecimento são responsáveis por mais de 80% das necessidades energéticas anuais dos edifícios. Para a maior parte do território nacional, se o edifício for bem concebido de início, as necessidades energéticas de arrefecimento são desprezáveis, não se justificando de modo algum o recurso aos aparelhos de ar-condicionado, cujo número de instalações tem vindo a crescer de uma forma preocupante nos últimos anos.

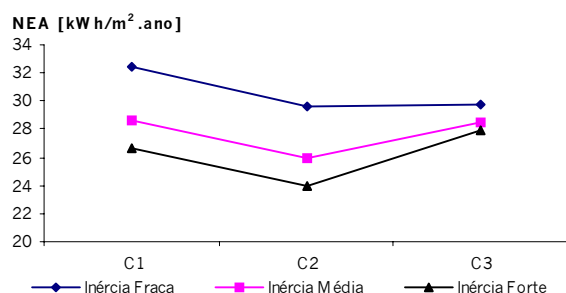


Figura 4: Influência da forma nas necessidades energéticas do edifício, em função do tipo de inércia térmica

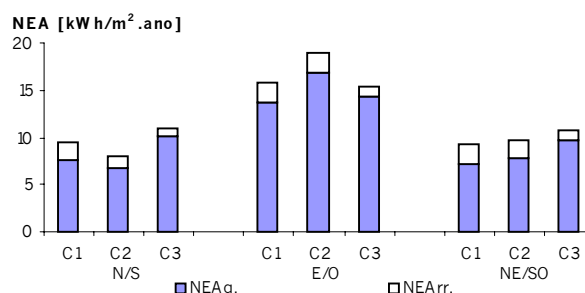


Figura 5: Influência da forma nas necessidades energéticas do edifício, em função do tipo de configuração e da orientação

### 3.2. Influência da Inércia Térmica

Tal como se pode verificar através da Figura 6, a inércia térmica é um factor determinante no comportamento térmico do edifício. Para as mesmas condições, um edifício de inércia térmica forte, apresenta necessidades energéticas 20% inferiores às de um edifício de inércia térmica fraca.

A análise efectuada permitiu ainda concluir que, para um mesmo desempenho energético, uma inércia térmica crescente permite uma redução significativa na espessura do isolamento a aplicar. Por exemplo, camadas de isolamento com 2 cm de espessura aplicadas em edifícios de inércia térmica forte, conduzem às mesmas necessidades energéticas que camadas de 10 cm aplicados em edifícios de inércia térmica fraca.

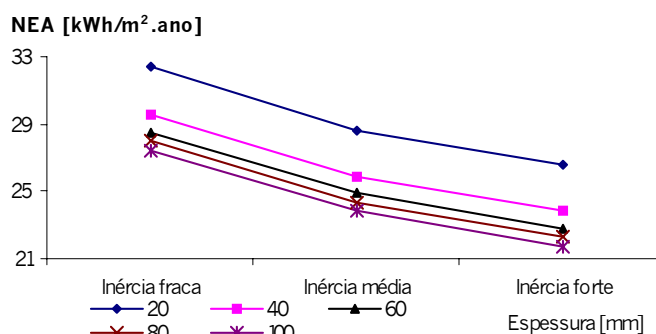


Figura 6 - Influência do tipo de inércia nas necessidades energéticas do edifício, em função do nível de isolamento dos elementos

### 3.3. Influência do Tipo de Paredes Exteriores, Materiais de Isolamento e Nível de Isolamento

As paredes analisadas são as de utilização mais corrente em Portugal, ou seja paredes duplas com dois panos iguais de 11 cm, ou o pano interior de 15 cm e o pano exterior de 11 cm e também as paredes simples de tijolo furado com 22 cm de espessura. Para cada um destes tipos de paredes avaliou-se a influência de diversos tipos de isolamento, em função do tipo de material, da sua espessura e da forma de colocação. Os materiais de isolamento estudados foram a lã mineral em mantas e em placas, o poliestireno expandido em placas, o poliestireno expandido extrudido em placas e a espuma rígida de poliuretano, com espessuras de 20, 40, 60, 80 e 100 mm, colocados na caixa de ar das paredes duplas e o poliestireno expandido extrudido (com as mesmas espessuras) colocado pelo exterior ou pelo interior das paredes simples e das paredes duplas.

Quanto ao tipo de material de isolamento a utilizar, o estudo efectuada permitiu concluir que a eficácia dos diversos materiais não difere muito entre eles. Foi possível

verificar que os materiais de isolamento mais eficientes são a espuma rígida de poliuretano [ERP] e o poliestireno expandido extrudido [PEE] e o menos eficiente a lã mineral em mantas [LMM]. No entanto, a redução das necessidades energéticas conseguida em qualquer edifício ao passar da LMM para ERP é de apenas 7%, como se pode verificar na Figura 7. A Figura 7 mostra ainda a variação das necessidades energéticas dos edifícios com a espessura do isolamento a aplicar, para os diversos materiais estudados. Conclui-se que, em termos médios, ao passar de uma espessura de isolamento de 2 cm (situação corrente na construção actual) para 4 cm, as necessidades energéticas reduzem-se em cerca de 12% e que ao passar de 4 cm para 6 cm essa redução é de cerca de 6%. Passar de 6 cm para 8 cm conduz apenas a uma redução de 3% nessas necessidades.

Em relação ao tipo de parede (simples ou dupla) e respectivo nível de isolamento, a Figura 8 mostra que as paredes mais eficientes são as paredes duplas 11+15 cm e 11+11 cm e a parede simples de 22 cm, todas com isolamento contínuo aplicado pelo exterior. Pelo contrário, a parede simples de fachada com 22 cm e isolamento aplicado pelo interior é a que apresenta pior desempenho térmico pois a inércia térmica do edifício é nestas condições drasticamente reduzida. A Figura 8 mostra ainda que se consegue reduzir em cerca de 5% as NEA quando se passa de paredes simples de 22 cm com isolamento pelo interior para as mesmas paredes mas isoladas pelo exterior. Vê-se ainda que se conseguem reduzir as NEA em cerca de 15% ao passar de paredes simples isoladas pelo exterior para paredes duplas também isoladas pelo exterior e que ao passar de paredes duplas com isolamento na caixa de ar para o mesmo tipo de paredes mas com isolamento aplicado pelo exterior, as reduções das NEA são também de cerca de 15%.

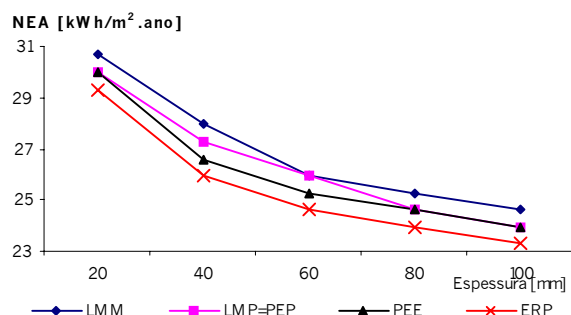


Figura 7: Avaliação da eficiência energética dos diversos tipos de materiais de isolamento utilizados em paredes, em função do nível de isolamento

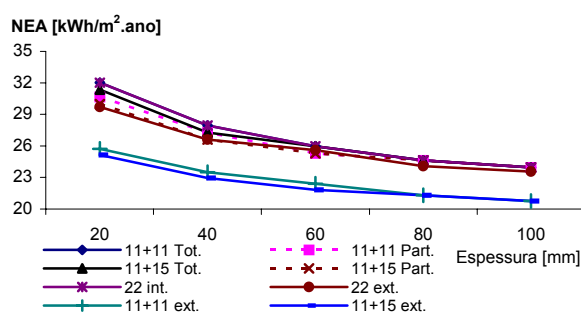


Figura 8: Avaliação da eficiência energética dos diversos tipos de paredes, em função do nível de isolamento

Para os diferentes tipos de paredes estudadas, fez-se a análise económica anteriormente referida. A Figura 9 mostra os resultados do estudo efectuado para paredes exteriores. Concluiu-se anteriormente que as paredes duplas com isolamento pelo exterior são as energeticamente mais eficientes. No entanto, este tipo de paredes é mais caro do que as paredes simples de 22 cm com isolamento aplicado também pelo exterior, tanto em termos de execução como em relação ao material utilizado. Estas, no entanto, têm um pior desempenho energético. A Figura 9 mostra que a construção de uma parede dupla 11+15 (cm) implica um investimento inicial superior em cerca de 33% ao investimento necessário para a construção de uma parede simples de 22 cm. No entanto, a maior eficiência só conduz a reduções energéticas anuais da ordem dos 16%. Quer isto dizer que o maior investimento inicial é recuperado ao fim de 12 anos, tornando-se a parede dupla mais eficiente a longo prazo.

Este tipo de análise pode ser feito para diversas soluções construtivas, permitindo concluir, por exemplo, que o maior investimento resultante da opção de 4 cm de isolamento

em vez de 2 cm é recuperado em 3 anos e que se a opção fosse por 6 cm o maior investimento era recuperado em 6 anos.

Os resultados são apresentados nas Figuras 10, 11 e 12, respectivamente.

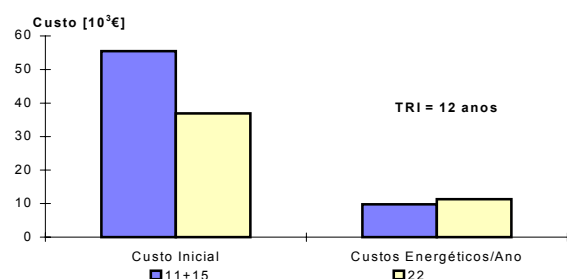


Figura 9 - Estudo comparativo entre paredes duplas simples com isolamento pelo exterior

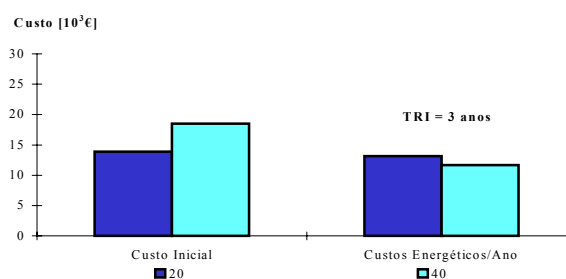


Figura 10 - Estudo comparativo entre uma parede dupla 11+15 (cm) com 20 mm e com 40 mm de isolamento na caixa de ar, para edifícios com inércia térmica forte

O estudo realizado permitiu também concluir que o investimento em isolamento térmico é rapidamente recuperado (em menos de uma década) mesmo para espessuras elevadas (100 mm), para qualquer um dos tipos de paredes estudados, tal como mostram a Tabela 3 e a Figura 11. Esta tabela mostra também que a espessura de isolamento mais eficiente é de 40 mm, uma vez que é a que conduz a uma mais rápida amortização do investimento realizado (cerca de 4 anos).

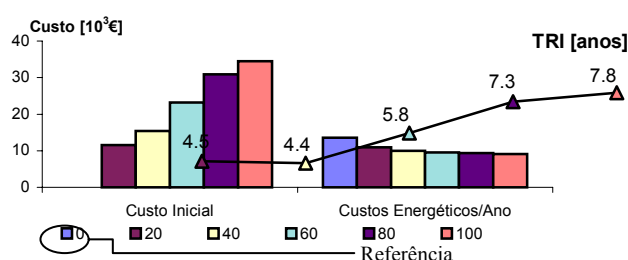


Figura 11 - Análise comparativa entre o nível de isolamento, para uma parede de tijolo 11+15, com PEE aplicado pelo exterior, mostrando o TRI

Tabela 3 - Análise comparativa entre paredes exteriores simples e duplas

TRI[anos]	11+15 cm com PEE na caixa de ar	11+15 cm com PEE aplicado pelo exterior	22 cm com PEE aplicado pelo exterior
e [mm]			
0	Referência		
20	5.4	4.5	4.1
40	4.7	4.4	4.1
60	6.2	5.8	5.7
80	7.7	7.3	6.7
100	8.2	7.8	7.2

Este tipo de análise pode ser realizada para várias soluções construtivas, tornando possível concluir, por exemplo, que o maior investimento devido à aplicação de 40 mm de isolamento em vez de 20 mm é recuperado em 3 anos, tal como mostra a Tabela 4, para esta e outras situações.

Tabela 4 - Análise económica de uma parede exterior 11+15, com PEE aplicado na caixa de ar

Aumento de espessura [mm]	Aumento de investimento inicial [%]	Reduções nas necessidades energéticas [%]	Tempo necessário para recuperar o maior investimento inicial, TRI [anos]
20 → 40	25	11	3
20 → 60	50	17	7
20 → 80	62	19	10
20 → 100	66	22	11
40 → 60	33	5	17
40 → 80	50	7	23
40 → 100	55	10	21
60 → 80	25	2	34
60 → 100	33	5	25
80 → 100	11	2	16

### 3.4. Influência do Tipo de Pavimentos e Coberturas

As soluções construtivas consideradas para o estudo dos pavimentos e das coberturas foram as lajes aligeiradas de blocos cerâmicos e as lajes maciças. Nas Tabelas 5 e 6 apresentam-se os tipos de pavimentos e de coberturas estudados. Os materiais de isolamento utilizados e as respectivas espessuras são os mesmos que os referidos para as paredes.

Tabela 5 - Tipos de coberturas analisadas

Tipo de Cobertura	Material de Isolamento
Cobertura inclinada → Sótão ventilado e não-ventilado	Colocado sobre a laje de esteira
Cobertura inclinada → Sótão não-ventilado	Colocado sob a laje inclinada
Cobertura Plana → Isolamento suporte da impermeabilização	Suporte da impermeabilização
Cobertura Invertida	Colocado sobre a impermeabilização

Na Figura 12 apresenta-se, de forma esquemática, os vários tipos de coberturas analisados neste estudo.

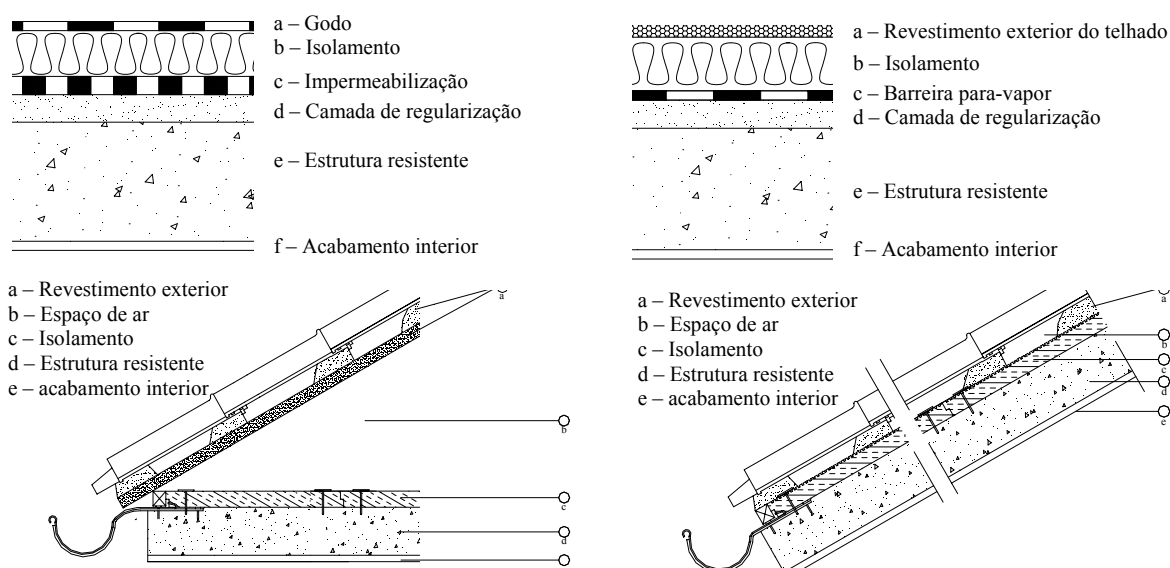


Figura 12 – Representação esquemática de uma Cobertura horizontal em terraço com isolante suporte de impermeabilização, de uma Cobertura horizontal tipo “cobertura invertida”, de uma Cobertura inclinada com isolamento na laje de esteira e de uma Cobertura inclinada com isolamento nas vertentes



Tabela 6 - Tipos de pavimentos analisados

Tipo de Pavimento	Material de Isolamento
Sem tecto falso	Sem isolamento ou com isolamento fixado directamente sob o pavimento
Com tecto falso	Sem isolamento ou com isolamento colocado no tecto falso

A primeira conclusão que foi possível tirar é que a diferença de comportamento entre as diversas soluções não é significativa. As reduções conseguidas nas necessidades energéticas para os diversos tipos de coberturas, para os vários tipos de estrutura resistente e para os diversos tipos de material de isolamento utilizado é, em média, de 1%, tal como a Figura 13 mostra.

Pode também verificar-se que, por exemplo, as necessidades energéticas de um edifício com uma cobertura plana com 20 mm de isolamento são iguais às do edifício com uma cobertura inclinada com 40 mm de isolamento aplicado nas vertentes e são 1% inferiores às do edifício com uma cobertura inclinada com 20 mm de isolamento aplicado sobre a esteira horizontal (todas as coberturas com estrutura resistente em laje aligeirada de blocos cerâmicos).

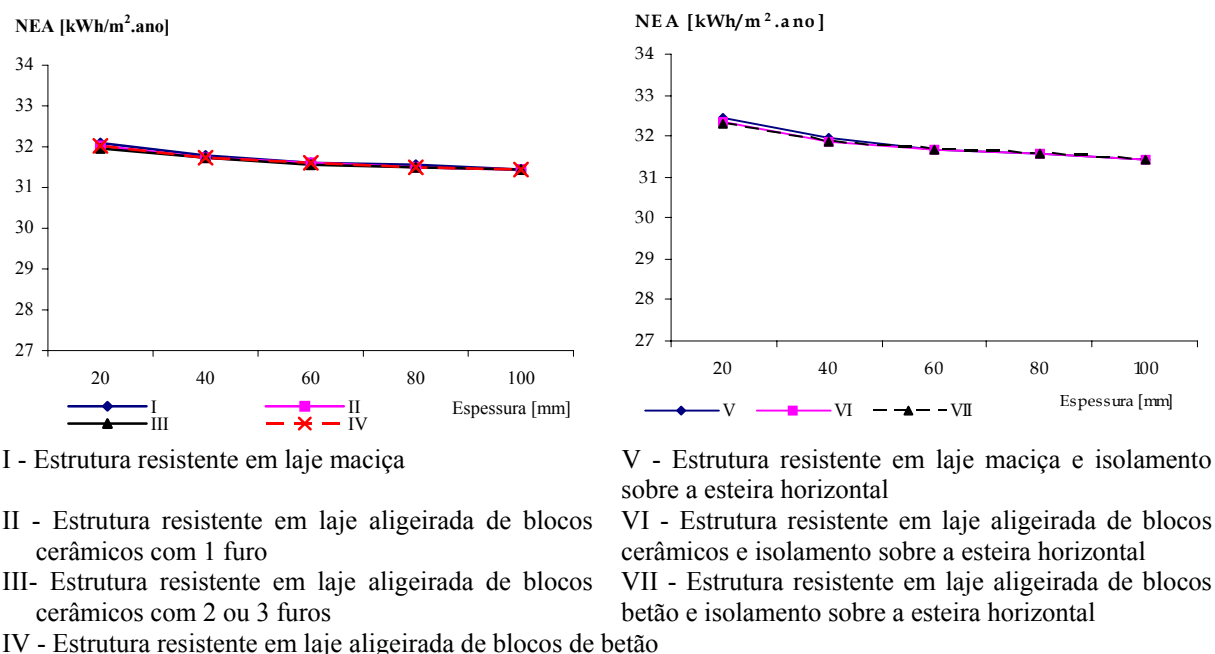
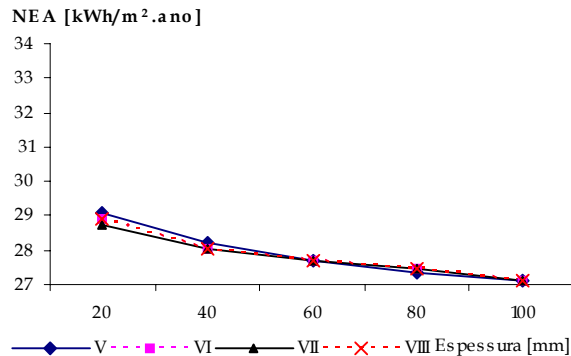
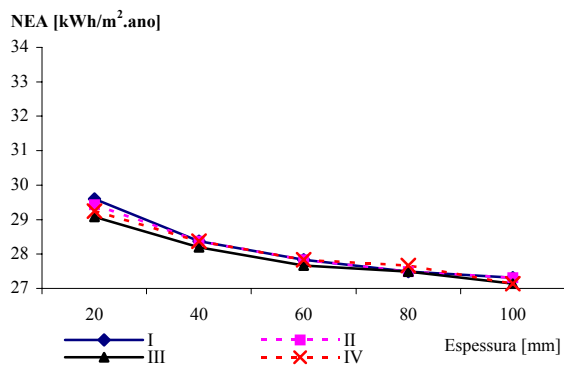


Figura 13 - Avaliação da eficiência energética dos diversos tipos de estrutura resistente, para coberturas tipo “invertida” e para coberturas inclinadas com isolamento sobre a laje de esteira, em função do nível de isolamento

As diferenças entre as necessidades energéticas dos edifícios, com as várias soluções estruturais utilizadas em pavimentos interiores, são também muito pequenas, não indo além dos 3%, tal como mostra a Figura 14.



- I - Pavimento com estrutura resistente em laje maciça e isolamento fixado directamente ao pavimento  
 II - Pavimento com estrutura resistente em laje aligeirada de blocos cerâmicos com 1 furo e isolamento fixado directamente ao pavimento  
 III - Pavimento com estrutura resistente em laje aligeirada de blocos cerâmicos com 2 ou 3 furos e isolamento fixado directamente ao pavimento  
 IV - Pavimento com estrutura resistente em laje aligeirada de blocos de betão e isolamento fixado directamente ao pavimento

- V - Pavimento com estrutura resistente em laje maciça e isolamento colocado na caixa de ar do tecto falso  
 VI - Pavimento com estrutura resistente em laje aligeirada de blocos cerâmicos com 1 furo e isolamento colocado na caixa de ar do tecto falso  
 VII - Pavimento com estrutura resistente em laje aligeirada de blocos cerâmicos com 2 ou 3 furos e isolamento colocado na caixa de ar do tecto falso  
 VIII - Pavimento com estrutura resistente em laje aligeirada de blocos de betão e isolamento colocado na caixa de ar do tecto falso

Figura 14 - Avaliação da eficiência energética dos diversos tipos de pavimentos com isolamento fixado directamente à sua face inferior e com isolamento colocado na caixa de ar do tecto falso do pavimento, em função do nível de isolamento

Deste modo pode concluir-se que a escolha do tipo de material aplicado, da solução construtiva e do tipo de elemento resistente utilizado, em pavimentos interiores não é condicionado pelo desempenho térmico das várias soluções, uma vez que o seu comportamento térmico é semelhante. Por isso, a opção por uma determinada solução para pavimentos interiores será tomada tendo em consideração os preços dos diversos materiais utilizados, os custos de execução, além das imposições de espaço e das limitações de resistência estrutural das diversas soluções construtivas.

Tal como foi feito para as paredes, o mesmo tipo de análise económica pode ser feita para os vários tipos de coberturas e pavimentos considerados neste estudo. A principal conclusão foi que um aumento no nível de isolamento conduz a um aumento significativo dos custos de construção sem um benefício térmico relevante, tal como mostram as Figuras 15 (para coberturas) e 16 (para pavimentos).

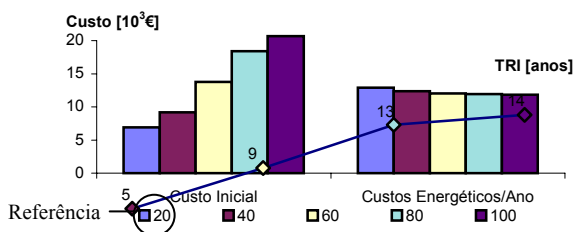


Figura 15 - Análise de coberturas planas com várias espessuras de espuma rígida de poliuretano, mostrando o TRI

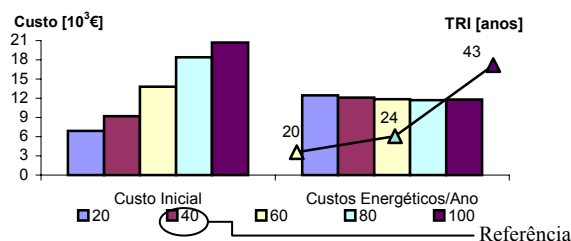


Figura 16 - Análise de pavimentos com diferentes espessuras de espuma rígida de poliuretano fixados directamente sob este, mostrando o TRI

A Tabela 7 mostra o tempo necessário para recuperar o maior investimento inicial em isolamento térmico nestes elementos estruturais. Este tipo de informação é importante para os projectistas e para os construtores pois permite-lhes a selecção da solução construtiva mais adequada para o caso em análise. A tabela mostra, por exemplo, que a solução energética e economicamente mais eficiente para uma cobertura plana corresponde a uma laje com uma espessura de isolamento de 40 mm ou 60 mm.

Tabela 7 - Avaliação económica de coberturas horizontais em terraço, com poliestireno expandido extrudido em placas (a solução de referência corresponde a 20 mm de isolamento)

Aumento de espessura [mm]	Aumento de investimento inicial [%]	Reduções nas necessidades energéticas [%]	Tempo necessário para recuperar o maior investimento inicial, TRI [anos]
20 → 40	25	4	4
20 → 60	50	4	8
20 → 80	62	4	13
20 → 100	64	4	14
40 → 60	33	3	14
40 → 80	50	2	23
40 → 100	50	2	23
60 → 80	25	1	43
60 → 100	33	1	35
80 → 100	11	1	22

A Tabela 8 mostra que, no caso de pavimentos interiores, a solução energética e economicamente mais eficiente corresponde à solução de referência que é aquela que tem uma camada de 40 mm de isolamento.

Tabela 8 - Avaliação económica de pavimentos com espuma rígida de poliuretano fixado directamente sob o pavimento (a solução de referência corresponde a 40 mm de isolamento)

Aumento de espessura [mm]	Aumento de investimento inicial [%]	Reduções nas necessidades energéticas [%]	Tempo necessário para recuperar o maior investimento inicial, TRI [anos]
40 → 60	33	2	20
40 → 80	50	3	24
40 → 100	56	2	43
60 → 80	25	1	31

Para além da análise da espessura mais adequada foi também realizado um estudo comparativo do comportamento dos diferentes tipos de coberturas e pavimentos. Com este estudo foi possível concluir que, tanto no caso das coberturas como no caso dos pavimentos, o desempenho térmico dos edifícios é semelhante, qualquer que seja a solução construtiva utilizada.

### 3.5. Influência dos Envidraçados e dos Elementos de Sombreamento

A influência do tipo de envidraçados e do tipo e localização dos dispositivos de sombreamento, foi também avaliada.

A influência dos envidraçados no desempenho energético dos edifícios depende do tipo de vidro (se simples ou duplo), do tipo de caixilho (de madeira ou de metal) e do tipo de dispositivo de oclusão nocturno (se de boa ou má estanquidade). As necessidades térmicas de arrefecimento (situação de Verão) dependem também muito do tipo de sombreador utilizado, se fixo (palas) ou móvel (cortinas, estores de lona ou venezianos, persianas e portadas, que

podem ser metálicas, plásticas ou de madeira), da sua cor e especialmente da sua localização (se aplicado pelo interior ou se aplicado pelo exterior).

Na Figura 17 mostra-se a eficiência da caixilharia e do tipo de envidraçado, vendo-se que a grande diferença de comportamento ocorre quando se passa do vidro simples para o vidro duplo que leva a reduções das NEA de cerca de 17%. Entre os diferentes vidros duplos, a diferença de eficiência é muito pequena. A figura mostra também que a caixilharia de madeira leva a reduções das NEA em cerca de 6% quando comparada com a caixilharia metálica.

A Figura 18 mostra a eficiência relativa dos vários tipos de sombreadores em função da sua localização (interior ou exterior) e em função da sua cor (clara, média ou escura). Esta figura mostra ainda que se conseguem reduções muito significativas nas necessidades energéticas de arrefecimento (superiores a 70%) quando os sombreadores são colocados pelo exterior em vez de pelo interior. Verifica-se também que a influência da cor só é significativa quando os sombreadores são aplicados pelo interior. Neste caso, conseguem-se reduções superiores a 35% nas NEArr ao passar de um sombreador de cor escura para um de cor clara.

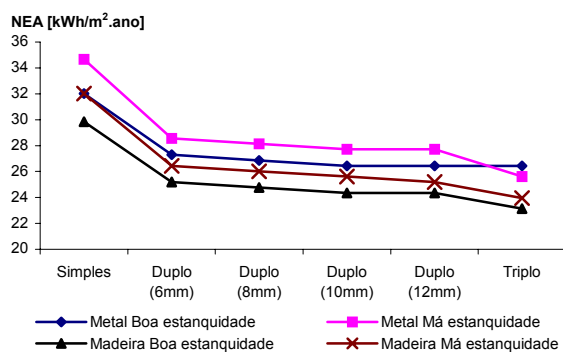


Figura 17: Avaliação da eficiência energética dos diversos tipos de envidraçados, em função do tipo de caixilharia

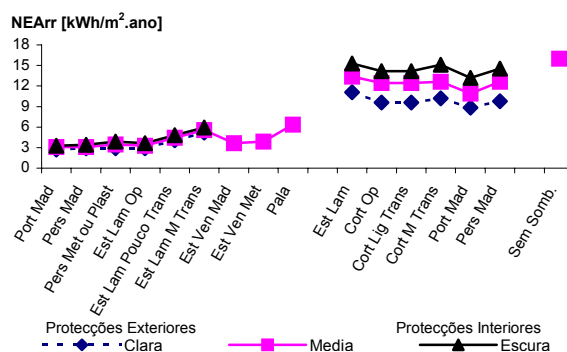


Figura 18: Influência dos dispositivos de sombreamento, em função da cor (protecção exteriores e interiores e vidros duplos)

O mesmo tipo de análise económica foi realizado para os diferentes envidraçados e dispositivos de sombreamento, o que permitiu concluir que o maior investimento feito nos vidros duplos em vez de simples é recuperado em 9 anos, tal como mostra a Figura 19. A viabilidade económica do uso de caixilharia metálica com corte térmico foi também verificada, concluindo-se que esta solução é cerca de 20% mais cara do que uma caixilharia metálica sem corte térmico. A redução dos consumos energéticos anuais, da ordem de 4%, possibilita a recuperação do maior investimento inicial em cerca de 3 anos, o que torna esta solução mais vantajosa a curto prazo. Foi também estudada a viabilidade económica da utilização de diferentes tipos de dispositivos de sombreamento, cujos resultados se apresentam na Figura 20 e que permitiu concluir que é necessário ter especial atenção na escolha do tipo de dispositivo. Estes elementos da envolvente têm um impacto muito importante no comportamento térmico do edifício, uma vez que o seu tipo, cor e em especial localização, altera de forma significativa o valor das necessidades energéticas de arrefecimento, Monteiro Silva (2001) e Guedes de Almeida (2001). A principal conclusão deste estudo foi que o tipo de dispositivo de sombreamento mais económico (persianas) é também o mais eficiente, o que mostra que as melhores opções nem sempre são as mais onerosas, sendo possível obter bons resultados com dispositivos mais baratos. A Figura 20 e a Tabela 9 resumem a análise comparativa realizada.

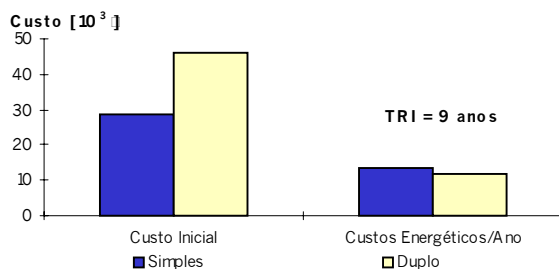


Figura 19 - Estudo comparativo entre vidros simples e vidros duplos

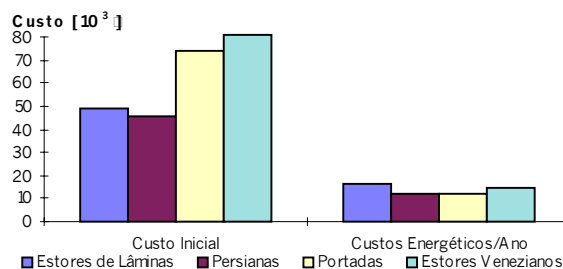


Figura 20 - Estudo comparativo entre diversos dispositivos de sombreamento

Tabela 9 - Estudo comparativo entre alguns tipos de dispositivos de sombreamento

Tipo de dispositivo de sombreamento	Aumento do investimento inicial [%]	Redução dos consumos energéticos (↓) [%]
Persianas → Estores de lâminas	7	↓ 27
Persianas → Estores venezianos	43	↓ 17
Estores de lâminas → Estores venezianos	39	↓ - 14
Persianas → Portadas	38	↓ - 1

A localização dos dispositivos de sombreamento foi também objecto de análise. A sua posição em relação ao envidraçado não altera o seu custo, no entanto, a sua correcta localização, pelo exterior do envidraçado, permite uma redução dos consumos energéticos anuais de aproximadamente 14%, tal como mostra a Figura 21.

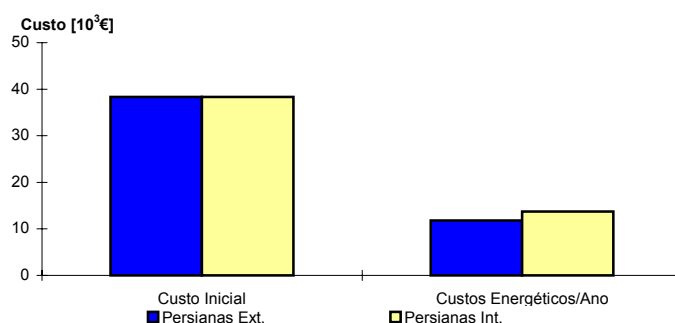


Figura 21 - Estudo comparativo entre as persianas colocadas pelo interior e pelo exterior

### 3.6. Influência do Tratamento das Pontes Térmicas

O tratamento das pontes térmicas é um factor determinante no bom ou mau comportamento térmico do edifício. No entanto, apesar de o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, ver RCCTE (1990), exigir a pormenorização da solução de tratamento das pontes térmicas, esta é, em geral, inexistente, quer a nível de projecto quer a nível de execução em obra, em especial devido à dificuldade que em alguns casos existe neste tratamento.

A influência das pontes térmicas foi avaliada em função do tipo de tratamento que é realizado para as corrigir, o que corresponde a valores do factor de concentração de perdas,  $f_c$ , ver RCCTE (1990), variando entre 2.0 (para paredes duplas com isolamento leve de 50 mm entre panos, interrompido nas zonas de elementos estruturais, sem correcção das pontes térmicas) e 1.0 (para paredes com isolamento exterior contínuo). Os valores de  $f_c$  adoptados cobrem várias situações de correcção de pontes térmicas, seguindo o estipulado no referido Regulamento, ver RCCTE (1990).

A Figura 22 mostra a variação das necessidades energéticas com o tipo de correcção efectuado (caracterizado pelo factor  $f_c$ ). É possível verificar que se conseguem reduções nas necessidades energéticas anuais de cerca de 25% para a configuração C1, quando o factor  $f_c$  se reduz de 2.0 para 1.0. Para as mesmas variações de  $f_c$ , conseguem-se reduções de cerca de 23% e 12% para as configurações C2 e C3 respectivamente.

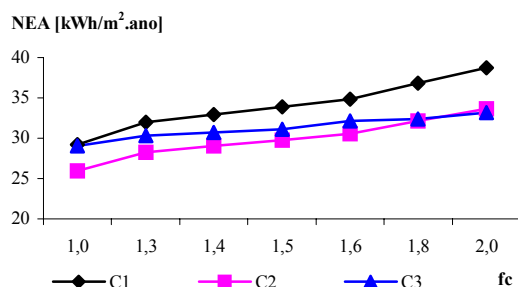


Figura 22 - A influência do tratamento das pontes térmicas nas necessidades energéticas das três configurações estudadas

Na Tabela 10 mostram-se as reduções nas necessidades energéticas conseguidas com o tratamento adequado das pontes térmicas.

Tabela 10 – Influência do tratamento das pontes térmicas nas necessidades energéticas dos edifícios para as três configurações estudadas

$f_c$	2.0 → 1.8	1.8 → 1.6	1.6 → 1.5	1.5 → 1.4	1.4 → 1.3	1.3 → 1.0	2.0 → 1.0	2.0 → 1.3
C1	5%	5%	3%	3%	3%	9%	25%	17%
C2	5%	5%	3%	3%	3%	8%	23%	16%
C3	3%	1%	3%	1%	1%	1%	12%	9%

Observando a tabela verifica-se que a configuração C3 é a menos sensível ao tratamento das pontes térmicas pois é aquela que possui menor área de paredes exteriores.

O isolamento exterior de toda a envolvente é o modo mais eficaz de se realizar o tratamento das pontes térmicas, possibilitando mesmo reduções das necessidades energéticas de 9% para a configuração C1 (de 8% para a configuração C2 e de apenas 1% para C3) em relação a um edifício com paredes duplas com isolante leve entre panos e com correcção dupla nas zonas dos pilares e das vigas (que já é uma solução melhorada).

Nas construções correntes, o usual é a não correcção das pontes térmicas, o que corresponde a um factor de concentração de perdas de 2.0. As reduções das necessidades energéticas anuais conseguidas com a correcção das pontes térmicas através da aplicação de isolamento pelo exterior das paredes em relação à não correcção das pontes térmicas, é de 25% para edifícios com configuração C1, de 23% para edifícios com configuração C2 e de 12% para edifícios com configuração C3.

As reduções das necessidades energéticas anuais conseguidas com a correcção das pontes térmicas de um edifício com paredes duplas com isolante leve entre panos e com correcção dupla nas zonas dos pilares e das vigas (factor de concentração de perdas de 1.3), em relação ao mesmo edifício, mas sem correcção das pontes térmicas ( $f_c=2.0$ ), é de 17% para C1, 16% para C2 e de 9% para a configuração C3.

### 3.7. Soluções Construtivas Energeticamente Eficientes

Com o estudo térmico comparativo realizado foi possível identificar as soluções construtivas mais eficientes. O estudo mostrou, Monteiro Silva (2001) e Guedes de Almeida (2001), por exemplo, que um edifício com a configuração C2 é o que apresenta melhor

desempenho térmico. Para as restantes características analisadas, a conclusão é que os elementos energeticamente mais eficientes são, Monteiro Silva (2001) e Guedes de Almeida (2001):

- As paredes duplas de fachada 11+15 (cm), e também as paredes simples de fachada com tijolo duplex com 22 cm, com 40 mm de isolamento aplicado pelo exterior (espuma rígida de poliuretano ou poliestireno expandido extrudido), pois conjugam a eficiência do isolamento com o tratamento das pontes térmicas;
- As coberturas planas de laje aligeirada com 60 mm de espuma rígida de poliuretano como suporte de impermeabilização;
- Os pavimentos interiores de laje aligeirada com 40 mm de espuma rígida de poliuretano colocada na caixa de ar do tecto falso;
- As janelas com vidro duplo, com caixilharia de madeira ou de metal com corte térmico e com um dispositivo de oclusão nocturno de boa estanquidade;
- As portadas e as persianas de cores claras colocadas pelo exterior (dispositivos de oclusão nocturna de boa estanquidade), que permitem a captação de energia solar de inverno e a rejeitam no verão.

A conjugação destas soluções conduz a valores bastante mais baixos das necessidades energéticas globais, conseguindo-se uma redução de cerca de 45% em relação à solução construtiva com a qualidade mínima exigida pela regulamentação portuguesa.

Uma análise semelhante à feita anteriormente, Figura 23, permite concluir que esta solução optimizada é cerca de 60% mais cara que a solução base e conduz, como referido, a uma redução nas NEA de cerca de 45%, Monteiro Silva (2001) e Guedes de Almeida (2001). Com estes valores conclui-se que o tempo necessário para recuperar o maior investimento inicial é de 14 anos, tornando-se, por isso, a solução optimizada mais eficiente quando se considera a vida útil do edifício (usualmente 50 anos).

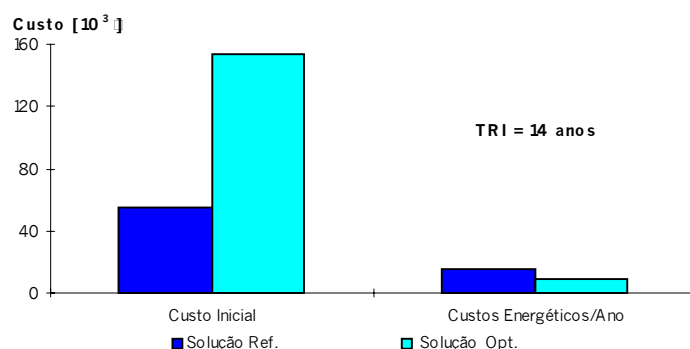


Figura 23 - Estudo comparativo entre a solução termicamente optimizada e a solução base

### 3.8. Influência da Zona Climática do Local de Implantação dos Edifícios

Quanto mais rigorosa for a zona climática onde o edifício está implantado, maiores serão as trocas de calor através da envolvente e, portanto, maior terá que ser o grau de exigência dos elementos da envolvente exterior. Por isso, depois de realizada a análise detalhada do comportamento térmico dos três edifícios estudados para a região  $I_2 - V_2$ , efectuou-se a análise comparativa do comportamento térmico da solução optimizada anteriormente identificada, para outras duas zonas climáticas distintas:  $I_1 - V_1$  e  $I_3 - V_3$ .

Como se pode verificar através da Figura 24, as necessidades energéticas de um edifício localizado na região climática  $I_3 - V_3$  são, em média, 54% superiores às necessidades energéticas anuais do mesmo edifício localizado na região climática  $I_2 - V_2$  e cerca de 80% superiores às do edifício colocado na zona climática  $I_1 - V_1$ .

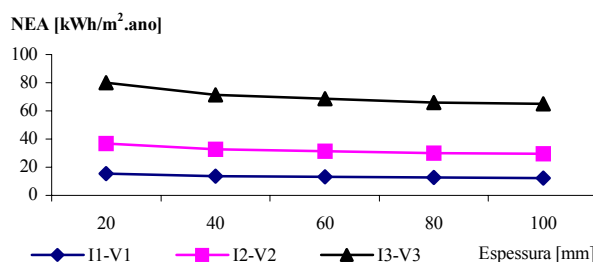


Figura 24 - A influência da zona climática de implantação dos edifícios nas suas necessidades energéticas, em função do nível de isolamento

A Figura 25 mostra o estudo económico comparativo entre a solução otimizada e a solução de referência, para as três zonas climáticas consideradas. Com este estudo verificou-se que qualquer que seja a zona climática em que o edifício esteja implantado, o tempo de recuperação do maior investimento inicial que é necessário para implementar a solução otimizada, é reduzido. Este período não ultrapassa os 7 anos para a zona climática I3 – V3 e é de cerca de 20 anos para a zona climática I1 – V1, uma vez que esta é a zona mais amena e por isso com menores necessidades energéticas.

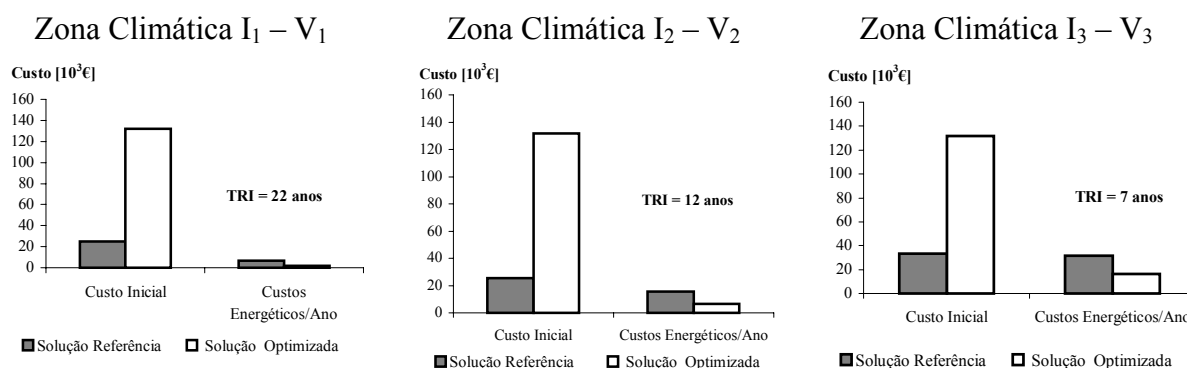


Figura 25 - Estudo comparativo entre a solução termicamente otimizada e a solução de referência, para as três configurações estudadas e para as três zonas climáticas

Foi então possível concluir que a implementação da solução otimizada é largamente justificada, em qualquer situação, se for tida em conta a vida útil dos edifícios.

#### 4. CONCLUSÕES

A principal conclusão deste estudo é que o acréscimo de investimento inicial devido à implementação de envolventes termicamente optimizadas é facilmente recuperável e conduz a reduções de consumos energéticos anuais muito significativas. É também importante referir que algumas soluções que devem ser implementadas, sempre que possível, não acarretam aumentos nos custos iniciais, mas conduzem a poupanças energéticas consideráveis.

Por fim, este tipo de informação objectiva relativa ao comportamento térmico dos edifícios e ao custo associado à implementação das soluções, é bastante útil para os intervenientes no sector da construção, permitindo avaliar das consequências das opções tomadas. A sua utilização pode levar à construção de edifícios mais eficientes em termos energéticos e mais rentáveis em termos económicos.



## REFERÊNCIAS

Bragança, Luís; Mendes, José Fernando; Guedes de Almeida, Manuela, *Energy Efficiency for Typical Building Layout*. PLEA'99 – Sustaining the Future, Proceedings of the PLEA 99 Conference. Brisbane, 1999.

Guedes de Almeida, Manuela; Bragança, Luís. *The Influence of Urban Layout on Thermal Performance of Buildings*. PLEA'99 – Sustaining the Future, Proceedings of the PLEA 99 Conference. Brisbane, 1999.

Guedes de Almeida, Manuela; Bragança, Luís; Monteiro Silva, Sandra, *As Consequências da Forma e Implantação dos Edifícios Urbanos*. NUTAU'2000 – Tecnologia & Desenvolvimento, Proceedings do X Congresso Ibérico de Energia Solar; V Congresso Ibero-Americano de Energia Solar. São Paulo, 2000.

Guedes de Almeida, Manuela; Bragança, Luís; Monteiro Silva, Sandra; *Avaliação Energético-Económica de Configurações Típicas de Edifícios Urbanos*, Proc. Segundo Taller Internacional de Vivienda Popular - ViPo'2000. Camaguey 2000

Guedes de Almeida, Manuela; Bragança, Luís; Monteiro Silva, Sandra, *A Methodology to Select Cost Effective and Thermal Efficient Constructive Solutions*, Proceedings of the PLEA 2001 Conference, Florianópolis, November 2001.

Monteiro Silva, Sandra, *Caracterização Energético-Económica de diversas Soluções Construtivas*, Dissertação apresentada à Universidade do Minho para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Guimarães, 2001.

*Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro de 1990.

